

전기화학적 콘크리트 부식의 예측

이종권 · 박지환*

Prediction of Concrete Corrosion using Electrochemical Technique

Jong Kwon Lee and Ji Hwan Park*

요약 본 연구는 콘크리트 배합시 염분의 함량이 구조물의 부식에 미치는 영향을 조사하기 위하여 수행되었다. 콘크리트는 물 : 포틀랜드 cement : 자갈 : 모래의 비율을 1 : 1.78 : 5.35 : 4.73의 비율로 하여 배합하였으며 염분의 함량은 0~3.5 wt%의 범위에서 철근의 부식을 연구하였다. 부식특성을 연구하기 위하여 부식전위를 2년간 측정하였으며 이를 콘크리트 파괴후의 철근의 외관 부식도와 비교하였다. 옥내와 옥외에 두었을 때 부식속도의 차이는 없었으며 염분의 함량이 증가함에 따라 활성이 큰 전위값이 측정되었다. 전위값이 낮은 시편은 부동태 피막이 파괴되어 부식이 진행되고 있었으며, 전위값이 높은 시편에서는 부식생성물이 관찰되지 않았다. 본 실험의 결과로 보강용 강재의 부식손상 정도를 자연전위 측정방법을 통하여 콘크리트내 보강용 철근의 부식거동 및 부식속도에 대한 비파괴적인 전기화학적 기술로서 구조물의 손상여부를 확인할 수 있었다.

Abstract The effect of chloride content on the corrosion of reinforced bar in concrete was studied. The mixing ratio of the concrete was 1 : 1.78 : 5.35 : 4.73 (water : cement : ballast : sand). The studied chloride content was in the range of 0~3.5 wt%. The corrosion potentials were measured in every week for two years. The copper-copper sulfate electrode (CSE) was employed as a reference electrode. After two years, the corroded structure was examined and compared to measured corrosion potential. Any visible difference was founded in the specimen located indoor and outdoor. The chloride concentration enhanced rusting and reinforced bar, shifting the potential to active range. The results showed good argument with Van daveer criteria. In 3.5 wt% chloride, the potential shifted belong -350 mV after 58week. Specimen in 1.75 wt% chloride, showed the potential between -200 mV-- -350 mV. However those in free chloride solution maintained above -200 mV for the studied period. It can be concluded that the chloride enhanced corrosion of rebar in concrete and the electrochemical potential can be a promising corrosion monitoring technique.

Key Words : Concrete corrosion, Van daveer criteria, CSE

1. 서 론

콘크리트는 pH 12.5 정도의 강 알칼리성[1]이므로 외적 요인이 작용하지 않는 한, 철근의 표면에는 부동태 피막이 생성되어 내식성을 가지게 되어 철근을 부식으로부터 보호된다. 또한 투과율(permeability)이 낮아 부식을 일으킬 수 있는 물질들의 침입을 최소화시키고 전기저항을 증가시키므로 콘크리트 구조물 내의 보강철근은 거의 부식되지 않는다. 콘크리트의 보강용 강재에서 일어나는 부식의 원인은 공기중의 CO_2 가 세멘트 중에 포함되어 있는 $Ca(OH)_2$ 와 반응, $CaCO_3$ 를 생성시켜 pH를 낮추며, 바다모래와 해빙제(deicing salt) 등에서

혼입된 염소이온은 철근에 형성된 부동태 피막을 파괴시켜 철근의 부식을 야기시킨다[7]. 또한 콘크리트 내부에 염화물 이온이 어느 정도 이상 존재하면 콘크리트가 중성화하지 않아도 철근의 부식이 진행된다. 이 경우에는 피복두께가 작을수록, 피복 콘크리트의 품질이 나쁠수록, 염화물의 함량이 많을수록 부식의 진행은 빠른 속도로 진행된다. 콘크리트 내부의 보강용 강재의 부식을 촉진하는 요인으로는 염화물 이외에도 균열, 곰보등의 존재나 피복 두께 부족을 열거 할 수 있다. 이런 결함부분은 투기성이 크고, 중성화가 빠르며, 수분 또는 산소의 공급을 받기가 용이하다. 특히 해양 구조물이나 바다모래를 사용한 콘크리트의 경우에는 콘크리트 내부로 염소이온이 허용치 이상으로 도입되게 된다[2]. 이러한 경로로 유입된 염소이온은 철근표면에 생성되어 있

*순천대학교 신소재공학과

는 부동태 피막을 파괴하여 부식속도를 급격히 증가시켜 압축강도에는 강하나 인장강도에는 비교적 약한 콘크리트의 내부에서 철근의 부식생성물이 증가하여 콘크리트에 인장응력을 야기시켜 콘크리트에 균열을 일으킨다. 균열된 틈을 통하여 산소와 수분의 공급이 원활하게 이루어지며, 이 결과로 보강용 강재의 부식은 가속화된다. 이러한 부식으로 인해 보강용 철근에 의해 인장응력을 감당하는 실질적인 철근의 단면적은 감소되므로 콘크리트 구조물에서의 안전성을 감소시킨다[3]. 이러한 콘크리트 부식의 방지법은 콘크리트의 두께를 최소 2인치(50 mm)두께 이상으로 하며 균일한 골재의 사용과 염화물이 없는 재료의 사용, 콘크리트 배합시물/시멘트의 혼합비를 정확한 비율로 혼합하는 방법 등이 있다. ASTM C876은 염분의 함량과 노출 정도에 따른 콘크리트 내 보강용 철근의 부식 거동 및 부식속도에 대한 정보를 전위를 통해 알 수 있는 방법의 하나로써 어떤 지역에 대해 -200 mV(vs. CSE) 이상의 전위이면 그 지역에서는 부식이 진행되지 않을 확률이 90% 이상이며, 전위가 -200 mV에서 -350 mV(vs. CSE)에서의 전위값을 나타내는 지역에서는 부식이 진행되는 확률이 불확실한 영역이며, -350 mV(vs. CSE) 이하일 경우에는 부식이 진행되고 있을 확률이 90% 이상임을 의미한다.

우리나라도 최근 건설경기의 활황으로 바다모래가 건설현장에 다량 사용되고 있다는 보고와 함께 국민들의 안전에 문제가 되고 있으며, 또한 염분함량의 증가에 따른 부식으로 인해 콘크리트 구조물의 수명이 현저히 단축되어 경제적인 피해도 적지 않으므로 염분 함량에 따른 부식 거동 연구 및 비파괴적 탐지기술의 개발이 요구된다.

본 연구는 콘크리트 배합시 사용하는 모래로 해사(海沙)를 사용하거나 염분이 완전히 제거되지 않은 채 사용되는 콘크리트내에서의 보강용 강재의 부식속도를 조사하기 위하여 염분의 함량과 시간에 따른 자연전위의 변화를 연구함으로써 전기화학적 기술로서의 활용여부를 판단하고자 하였다.

2. 실험 방법

2.1 시편제작

시편의 콘크리트 배합비율은 물 : 시멘트 : 자갈 : 모래의 비율을 1 : 1.78 : 5.35 : 4.73[4]의 비율로 혼합하였고 크기는 직경 9 cm, 높이 15 cm이며 삼인된 철근의 두께는 5 mm, 길이 15 cm의 크기로 절단하여 깊이 10 cm로 매립하였다. Cl⁻ 이온의 차이를 부여하기 위해 NaCl의 농도를 0 wt%, 1.75 wt%, 3.5 wt%의 조건을

Table 1. ASTM C876-87에 의한 판정기준

Potential (mV)	Corrosion behavior
above -200 mV	Less than 10%
from -250 mV until -350 mV	Uncertain
below -350 mV	More than 90%

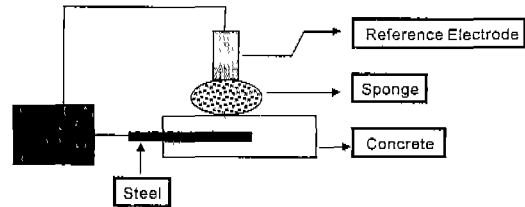


Figure 1. CSE(Copper-Copper Sulfate Saturate Electrode)를 이용한 전위의 측정

택하여 약 2년(105주) 동안 실내와 실외에서 각각의 시편들의 전위를 측정하였다.

2.2 전위의 측정

전위의 측정은 Table 1의 ASTM C876의 판정기준에 의해 측정하였다. 기준전극은 CSE 전극을 사용하였으

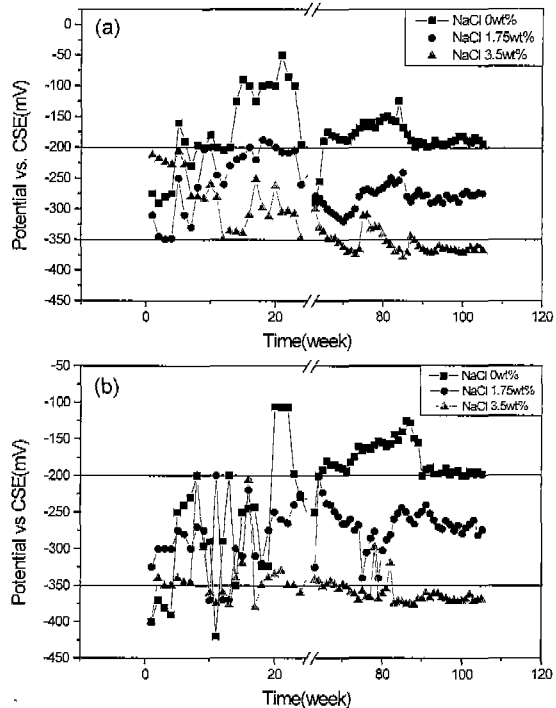


Figure 2. 실내(a)와 실외(b)에서 측정된 NaCl 농도와 시간에 따른 전위의 변화

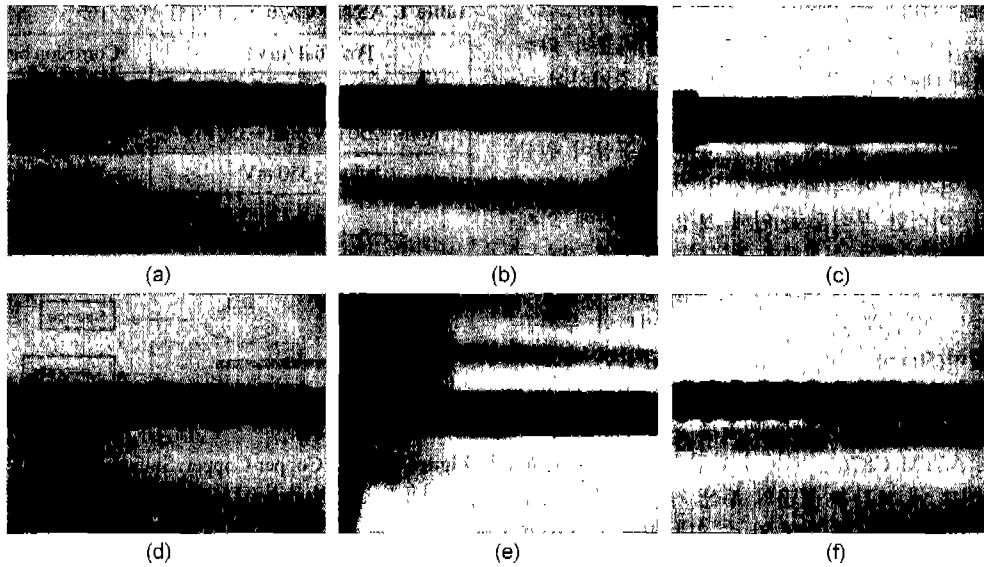


Figure 3. 3년후 부식용 강재의 부식형상 실내에서의 시편 (a), (b), (c)와 실외에서의 시편 (d), (e), (f)

며 철근과 전극들은 액상의 세제로 적신 스폰지를 통하여 전기적으로 접촉되며 적심용액은 물에 희석한 일반 가정용 세제를 사용하였다(Figure 1).

3. 결과 요약

초기 1년간은 안정된 전위값을 나타내지 못하였으나 2년차부터는 안정된 전위를 나타내었다(Figure 2) 염수의 함량이 각각 0 wt%, 1.75 wt%, 3.5 wt%로 배합한 시편의 전위를 측정된 결과 위치에 따른(육내, 육외) 전위의 차이는 뚜렷하게 나타나지는 않았으며, 각각의 NaCl 농도에서 부식전위의 경향은 실내와 실외에서 비슷한 경향을 보였고, 염수 함량에 따른 전위차를 통해 부식거동을 확인할 수 있었다. NaCl 함량이 0 wt%인 시편의 경우에는 -198 mV~-100 mV로 시편표면의 표면에 형성된 부동태 피막에 의해 상대적으로 부식전위가 낮았으며(Figure 3), 3.5 wt%의 NaCl이 함유된 시편에서는 ASTM C876-87의 판정기준에서의 부식이 발생할 확률이 90% 이상인 -375 mV~-348 mV의 부식전위가 측정되었다. 그러나 1.75 wt%의 NaCl 함량의 시편에서는 불확실 영역의 전위인 -281 mV~-200 mV의 전위가 측정되어 부식 거동이 명확히 확인되지 않았다. 본 실험의 결과로 보강용 강재의 부식손상 정도를 자연전위 측정방법을 통하여 콘크리트내 보강용 철근의 부식거동 및 부식속도에 대한 비파괴적인 전기화학적 기술로서 구조물의 손상여부를 확인할 수 있었다.

4. 결 론

1. 철근의 부식전위는 초기의 불안정기를 제외하고는 NaCl의 농도가 증가함에 따라 전위값이 감소하는 경향을 보였다.
2. 육내와 육외 시편의 전위차이는 뚜렷하게 나타나지는 않았으며, 각각의 NaCl 농도에서의 부식 전위의 경향은 실내와 실외에서 비슷한 경향을 나타내었다.
3. ASTM C876-87의 판정기준에 의한 부식이 일어날 확률이 90% 이상으로 해석되는 NaCl 함량이 3.5 wt%의 시편의 자연전위는 -350 mV 이하로서 제조후 105주가 지난후 콘크리트를 파괴하여 철근의 외관을 관찰하였을 때 이미 부식이 시작되었음을 알 수 있었다.

참고문헌

- [1] Scatt, G. N., "Corrosion of Reinforced Concrete in Marine Environment", Journal of American Water Works Association, Vol. 61, No. 2, 1964.
- [2] Finley, H. F., "Corrosion of Reinforced Steel in Concrete in Marine Atmospheres", Corrosion, March, 1961.
- [3] 이재봉, 콘크리트 내 철근의 부식 및 방지, 한국부식학회 제17회 부식 및 방지 강습회, 135-167, 1996.
- [4] B. Husock, E. R. M. Wilson, Ph.D, W. H. Hooker, M. B. A Solving rebar corrosion in concrete. preprint no.1 overview of the rebar corrosion problems, Harco corpo-

- ration medina, Ohio. P. 1/1~1/14.
- [5] William Perenchio, Solving Rebar Corrosion in Concrete. Preprint No.3 Condition Survey : Test Methods and Equipment. Wiss, Janney, Elstner and Association Northbrook, Illinois, 3/1~3/3.
- [6] D. Whiting, Solving Rebar Corrosion in Concrete. Preprint No. 5 Corrosion control concrete design and Construction Practices, The Portland Cement Association, Skokie, Illinois, 5/1-5/11.
- [7] 이의호 외 공역, “부식과 방식의 원리”, 동화기술, 479-48, 1999.